

持续强降雨后高温强光对猕猴桃 叶片光合和根系代谢的影响

董肖, 陈毓瑾, 陈立, 严思韵, 余华辉, 张才喜, 马超, 王磊, 许文平*, 王世平*

(上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240)

摘要:【目的】探讨上海地区夏季持续强降雨后的高温晴朗天气对猕猴桃树体生理的影响。【方法】以美味猕猴桃‘徐香’为试材, 人工模拟强降雨和高温强光环境, 将猕猴桃植株在不同时长强降雨下处理后转移到高温强光下生长, 测定土壤含水量及猕猴桃植株叶片和根系的各项生理指标。【结果】随强降雨时间延长, 猕猴桃叶片受损程度增加, 且受损程度与强降雨后的高温强光时长呈现显著正相关, 持续强降雨 3~5 d 后在高温强光下 3~4 d, 猕猴桃叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T)、气孔导度(G_s)明显下降, 胞间 CO_2 浓度(C_i)上升, 根系活力降低, 而相对电导率、丙二醛(MDA)含量、游离脯氨酸含量及抗氧化酶 SOD、POD、CAT 的活性显著升高。【结论】持续强降雨 3~5 d 后在高温强光下 3~4 d 会破坏猕猴桃根系的正常生理代谢, 造成猕猴桃幼苗叶片萎蔫, 最终导致植株死亡。

关键词: 猕猴桃; 持续强降雨; 高温强光; 光合特性; 根系代谢

中图分类号: S663.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)07-0817-11

Effect of high temperature and strong light after sustained heavy rainfall on the photosynthesis and root metabolism in kiwi trees

DONG Xiao, CHEN Yujin, CHEN Li, YAN Siyun, YU Huahui, ZHANG Caixi, MA Chao, WANG Lei, XU Wenping*, WANG Shiping*

(College of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: 【Objective】This study examined the influence of weather with sustained rainfall followed by high temperature and strong light intensity on physiology and biochemistry of kiwi trees in summer in Shanghai region in order to understand the cause of tree death in such a weather. 【Methods】The experiment adopted artificial rainfall and simulated high temperature and strong light environment and used delicious ‘Xuxiang’ kiwi trees as the test materials. The plants were placed in a rainfall simulator with a precipitation capacity of $0.58 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ at an interval of 1 hour for five days. Then the plants were moved into a small greenhouse and exposed to high temperatures ($38\text{--}40^\circ\text{C}$) and strong light ($50\,000\text{--}100\,000 \text{ lx}$) for 4 days. Soil water contents in the treatments of different rainfall time followed by high temperature and strong light were measured. Moreover, leaf net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T), stomatal conductance (G_s), and intercellular CO_2 concentration (C_i) of the kiwi leaves were measured at 10:00 am every day via CIRAS-2 portable photosynthesis system. The damage to each leaf of the kiwi plants was quantified, and damaged leaves were classified into yellowing, wilting and withering leaves. Then root samples were taken to laboratory to measure the membrane leakage using conductometric method and root activity with TTC methods. Besides, malondialdehyde (MDA) content in the samples was detected using thiobarbital acid method and proline content with sulfosalicylic acid method. Nitroblue tetrazolium (NBT) reduction method was used to determine the content of superox-

收稿日期: 2017-11-21

接受日期: 2018-03-29

基金项目: 崇明猕猴桃新品种引进及其种植新技术研究与示范(13391912400)

作者简介: 董肖, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为果树栽培与渍水胁迫生理反应。Tel: 15201770883, E-mail: 1084389742@sjtu.edu.cn

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 021-34205961, E-mail: wp-xu@sjtu.edu.cn; Tel: 021-34205961, E-mail: fruit@sjtu.edu.cn

ide dismutase (SOD). Peroxidase activity was determined with guaiacol method, and catalase with ultra-violet absorption method.【Results】During the artificial rainfall weather, before the commerce of high temperature and strong light, soil moisture increased and then leveled off, and the damage on the leaves increased sharply. The increase of soil moisture due to sustained rainfall caused the leaves to suffer from high temperature and strong light. The subsequent decline in soil moisture did not weaken the damage on the leaves. The results indicated that high temperature and strong light could be the key factors to damage the leaves, while the increase of soil water content caused by sustained rainfall was only the predisposing factor. The plants exposed to the stress of high temperature and strong light after sustained rainfall, had significantly ($p < 0.05$) reduced leaf net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r) and stomatal conductance (G_s), and increased intercellular CO_2 concentration. The decline in photosynthetic rate may be caused by non-stomatal limitation. The damage on the photosynthetic apparatus caused by the stress of high temperature and strong light in a short time after rainfall led to the decline of photosynthetic rate. The longer the time of rainfall was, the faster the root vitality decreased during the exposure to high temperature and strong light. On the fourth day of high temperature and strong light treatment, root viability was significantly lower than the control group ($p < 0.05$). The activities of SOD, POD and CAT in the root increased significantly in trees under the stress of high temperature and strong light after rainfall. The trend of SOD activities in R3 group decreased after an initial increase. The SOD activities in R4 and R5 continued to decline, but maintained higher than in the control group in the end by 32.21% and 19.33%, respectively. The POD activities in R1-R5 groups were 11.91%, 36.17%, 119.18%, 96.35% and 97.89% higher compared with the control group, respectively. The CAT activities in R1-R5 groups were 58.53%, 76.80%, 131.51%, 150.26% and 205.86% higher than in the control groups, respectively. The CAT activities in R4 and R5 reached their maximum values in the second day and then decreased. Although there was no significant linear correlation between leaf damage and root activity, they displayed a negative correlation. The longer the duration of rainfall was, the more serious damage water-logging caused on root system. During the exposure to high temperature and strong light, soil moisture decreased and the water-logging effects on root system had not disappeared completely. It triggered accumulation of free radicals, resulting in the death of the root system.【Conclusion】Extended rainfall intensifies water-logging stress effect on kiwi trees, and the subsequent high temperature and strong light create additional stress, which weakens the defense capability of the plant. On top of this, the stress of high temperature and strong light aggravates the damage on the root and photosynthetic apparatus. Finally, the stress damages the cellular structures and physiological metabolism in the root and weakens root activity and thus causes leaf wilting and withering.

Key words: Kiwi trees; Sustained rainfall; High temperature and strong light; Photosynthetic characteristics; Root metabolism

猕猴桃为雌雄异株的藤本果树,其果实风味独特,鲜美多汁,富含维生素C和多种矿物质,具有很高的营养价值和保健价值^[1-2]。我国的猕猴桃种植面积和产量均居世界第一^[3],产区主要分布在陕西、四川、河南等地^[4]。上海地区早在上世纪90年代就开始了猕猴桃的引种试种^[5],其后通过不断的品种筛选和生产推广,逐步使猕猴桃成为了上海的特色农产品之一^[6-7]。然而,由于上海等周边沿海地区地下

水位高,夏季持续强降雨后天气突然放晴,影响了植株根系的生长和发育,严重时甚至导致树木死亡。

强降雨后的涝害主要对猕猴桃根系的生长发育造成不利影响。渍水发生后,土壤黏粒含量和土壤板结程度均出现一定程度的上升,改变了土壤的理化性质^[8]。进而导致土壤中空气的流动性变差,氧气难以从外界进入土壤。对水稻等植物而言,氧气的缺乏会改变根系代谢水平及组织结构^[9-10]。已有

研究表明美味猕猴桃^[11]在渍水 96 h 后,根系活力显著下降,渍水 144 h 后,根系几乎丧失活力。渍水也会影响葡萄新根的发生^[12],灌木幼苗^[13]的根系在无氧环境中,根毛减少、发黑、根系生长减缓,根系中抗氧化酶活性等生理指标均有显著变化。水稻在遭受逆境时 Pro 含量升高,MDA 结合膜蛋白使其变性并破坏核酸分子,导致细胞膜结构破坏并丧失其功能^[14];当欧李等作物遭受渍水后,细胞膜脂过氧化加剧,MDA 的含量也随之增加,植物体内主要清除酶类 SOD、POD 和 CAT 的活性升高^[15-17]。越橘^[18]遭受渍水胁迫时,叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率呈现下降趋势,胞间 CO₂ 浓度升高;高温强光胁迫下梨叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率也出现下降^[19],其中一个品种出现了胞间 CO₂ 浓度下降的情况,为气孔限制;另一个品种出现了胞间 CO₂ 浓度上升的情况,为非气孔限制。

渍水、高温单独处理增加了棉花叶片 SOD、POD 活性和丙二醛 MDA 含量^[20]。渍水和高温共同处理导致 SOD 活性降低,POD 活性迅速增强和 MDA 含量急剧增加。渍水、高温及渍水+高温均降低了叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率,增加了胞间 CO₂ 浓度,降低了籽棉产量;从产量受害程度来看,渍水+高温>渍水>高温。持续强降雨后高温强光天气对猕猴桃植株的影响还未见报道,笔者以上海普遍种植的美味猕猴桃‘徐香’为试材,通过人工模拟持续强降雨和高温强光,研究猕猴桃叶片光合和根系代谢的影响,探讨上海地区猕猴桃夏季树体死亡的原因,为猕猴桃在上海地区抗逆栽培提供借鉴。

1 材料和方法

1.1 材料与设计

试验于 2017 年 2—8 月在上海交通大学农业工程训练中心的玻璃温室内进行,材料为 2 a(年)生美味猕猴桃‘徐香’(砧木为 2 a 的‘徐香’实生苗),试验设置单株重复,3 次重复,植株无病虫害,大小、长势基本一致。将上海本地黏土装填于 25 L 花盆中,猕猴桃苗定植于其中,每天早晚 2 次定时滴灌,每次 30 min,每 2 周施肥 1 次(50 g 尿素+50 g 复合肥)培养至株高 50 cm 左右时开始试验。将猕猴桃植株放置到喷水量为 7.5 mm·h⁻¹ 的模拟装置下淋水 24 h,间停 1 h 淋水,连续降雨分别为 0、1、2、3、4、5 d,模拟强降雨时的环境与外界保持一致(温度 32~34 ℃、光强

3 000~6 000 lx),未作处理的对照用 CK 来表示。然后放置在人工气候室高温(38~40 ℃)、强光(50 000~100 000 lx)分别处理 0、1、2、3、4 d,其他模拟影响因子与外界环境保持一致,经淋水和高温强光处理过的植株每天上午 10:00—11:00 测量指标、取样。

1.2 方法

以英国 CIRAS-2 便携式光合仪测定植株外围中部叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)。以 HH2 Moisture Meter 测定土壤含水量。

于每天上午 10:00 统计每株猕猴桃叶片受害情况,以叶片发黄、萎蔫、干枯脱落等表型作为受害指标,计算受害率,受害率/%=受害叶片/植株总叶片×100。采集根系样品,用电导法测根系相对电导率,采用 TTC 法测定根系活力,采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量,磺基水杨酸法测定脯氨酸含量,氮蓝四唑(NBT)还原法测定超氧化物歧化酶活性,愈创木酚法测定过氧化物酶活性,紫外吸收法测定过氧化氢酶活性^[21]。

每个指标平行测 3 次,用 Excel 2010 进行数据整理,SPSS 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 强降雨时长对猕猴桃幼苗叶片光合和根系代谢的影响

持续强降雨处理后,土壤含水量明显高于 CK,强降雨处理后 1 d,土壤含水量升高到 44%,CK 为 18%,之后处于平稳状态(图 1)。

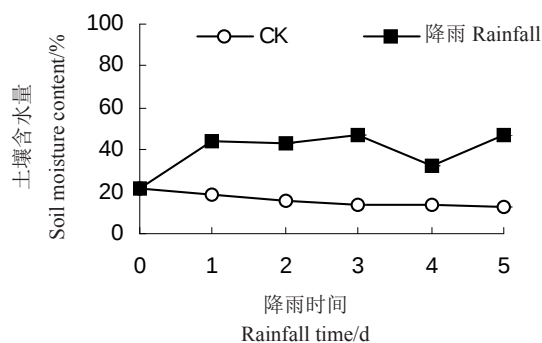


图 1 强降雨对土壤含水量的影响

Fig. 1 Effect of rainfall on soil moisture content

只受淋水处理的猕猴桃植株,第 5 天最高受害率为 3.20%,植株表现正常(表 1)。

由图 2 所示,猕猴桃幼苗叶片的 C_i 、 P_n 、 G_s 、 T_r 在

表 1 不同处理猕猴桃叶片的受害率
Table 1 Damage rate of kiwifruit leaves under different treatments

%

高温强光时间 Time of high temperature and strong light/d	强降雨时间 Rainfall time/d					
	R0	R1	R2	R3	R4	R5
0	0 b	0 b	0 d	0 e	1.52±2.14 e	3.20±2.30 e
1	0 b	1.85±2.62 b	5.85±1.99 d	13.31±3.78 d	17.48±2.79 d	16.94±3.57 d
2	0 b	1.51±2.14 b	10.26±1.93 c	33.41±3.30 c	31.10±5.58 c	59.81±1.17 c
3	3.36±2.41 b	8.79±1.48 a	28.04±5.66 b	41.71±2.71 b	71.67±4.20 b	89.16±2.90 b
4	5.23±0.61 a	15.03±4.23 a	34.99±3.22 a	51.21±4.24 a	87.64±2.21 a	98.90±1.24 a

注: R0、R1、R2、R3、R4、R5. 强降雨处理时间为1、2、3、4、5 d. 不同小写字母表示处理间有显著差异($p < 0.05$). 下同。

Note: R0, R1, R2, R3, R4, R5. Rainfall treatment time for 1, 2, 3, 4, 5 d. Different small letters indicate significant difference at $p < 0.05$, The same below.

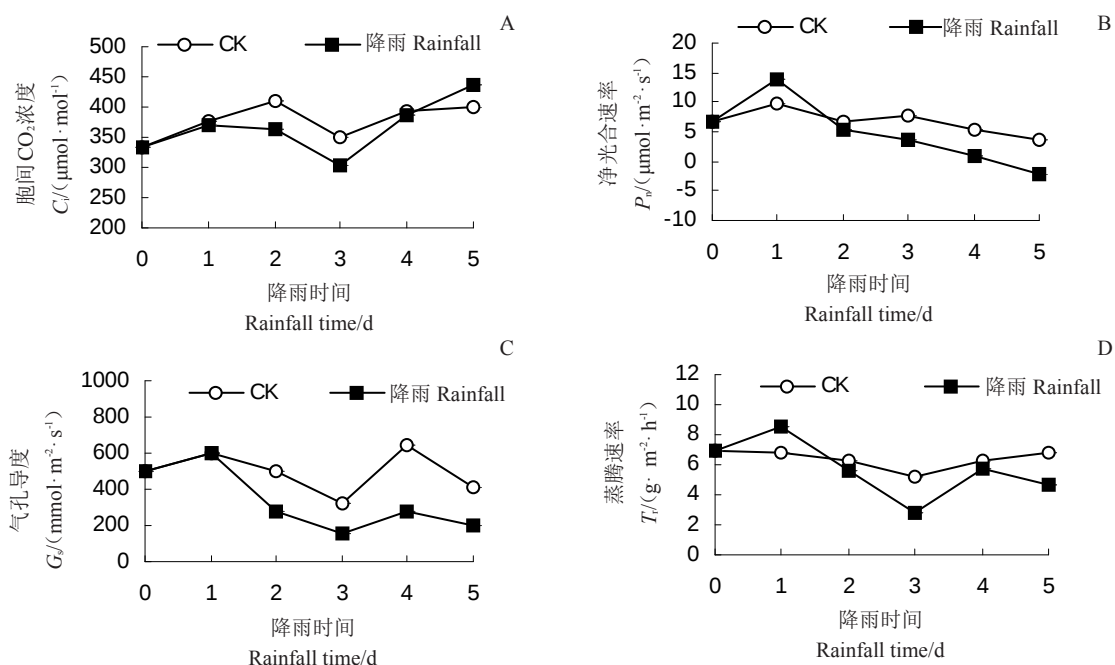


图 2 强降雨对猕猴桃叶片 C_i 、 P_n 、 G_s 、 T_r 的影响

Fig. 2 Effects of rainfall on C_i , P_n , G_s and T_r in kiwifruit leaves

持续强降雨后出现下降。持续强降雨2~3 d的猕猴桃叶片 C_i 低于CK, 在4~5 d时没有明显差异, 持续3 d的强降雨导致叶片的 C_i 降到 $304.67 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 第3天处理低于CK, 但第5天处理高于CK(图2-A)。处理组和对照组的 P_n 均表现为先上升后下降趋势, 除第1天, 之后的2~5 d处理组的 P_n 均低于CK。(图2-B)。处理组的 G_s 低于CK, 第2天开始下降, 在第3天下降到 $156.33 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 随后趋于平稳(图2-C)。处理组 T_r 低于CK, 除处理第1天比CK高, 2~5 d处理均低于CK, 第3天降到最低值 $2.77 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (图2-D)。

由图3可知, 猕猴桃幼苗根系的根系活力、相对电导率、MDA含量、游离脯氨酸含量和氧化酶活性

在持续强降雨后发生变化。持续强降雨处理猕猴桃的根系活力明显低于CK, 在处理1~5 d后分别比CK降低了78.22%、21.51%、59.10%、83.29%和183.35%, 第2天有所升高, 第5天降到最低值($32.09 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)(图3-A)。强降雨处理根系的相对电导率高于CK, 在处理1~5 d后分别上升85.35%、13.04%、38.88%、65.22%和118.97%, 第5天升到最大值(41.26%)(图3-B)。强降雨处理组的MDA含量高于CK, 在处理1~5 d后分别提高17.97%、106.21%、162.66%、167.23%和166.01%, 第5天到达最大值($9.62 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)(图3-C)。CK的游离脯氨酸含量比较稳定, 持续强降雨后处理组Pro含量呈上升趋势, 第3天达到最大值($237.23 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), 随后趋

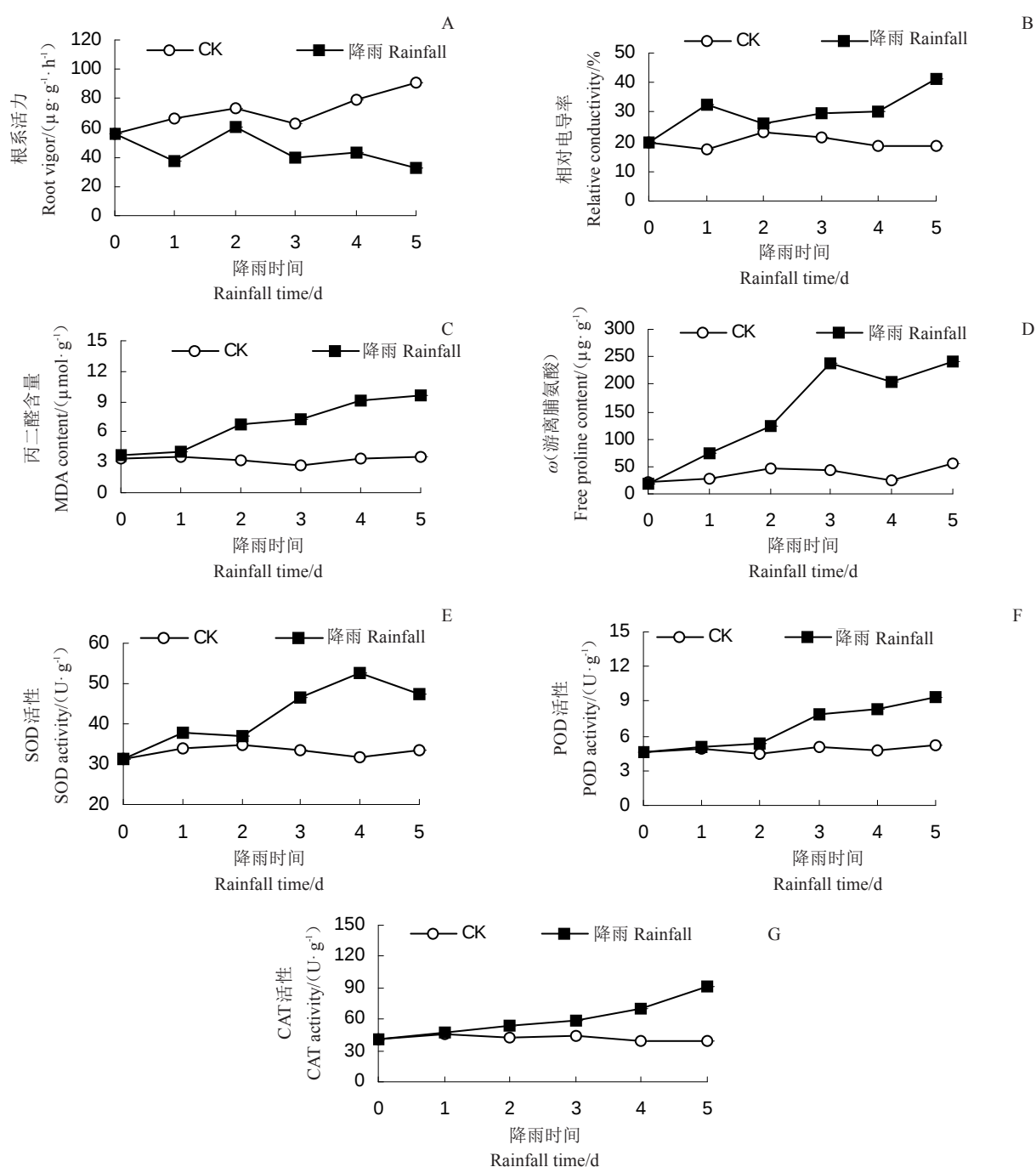


图3 强降雨对猕猴桃根系代谢的影响

Fig. 3 Effect of rainfall on root metabolism in kiwifruit

于平稳(图3-D)。SOD是酶促清除系统的关键酶,持续强降雨后处理组的SOD活性高于CK,在处理1~5 d后分别比CK升高了11.02%、5.99%、38%、65.63%和40.85%。持续强降雨组的SOD活性在前2 d略有上升,第3天开始急剧上升,第4天达到最大值($52.54 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$),第5天出现下降(图3-E)。持续强降雨组在前2 d与对照组的POD活性没有显著差异,第3天后明显高于对照组,第5天

达到最大值($9.39 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$);与CK相比,强降雨处理组分别升高了3.91%、20.16%、54.54%、72.35%和79.53%(图3-F)。强降雨处理组的CAT活性分别比CK升高了3.74%、28.78%、37.30%、74.44%和135.98%,强降雨处理组和对照组在第1天CAT活性基本一致,第2天对照组呈下降趋势,处理组呈上升趋势,第5天达到最大值($90.5 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$)(图3-G)。

2.2 高温强光对猕猴桃幼苗叶片光合和根系代谢的影响

只受4 d高温强光处理的猕猴桃植株,在第4天最高受害率为5.23%,植株表现正常(表1)。

随着高温强光时间延长,只受高温强光影响的R0和CK的土壤含水量都略有下降,但两者之间没有明显变化(图4)。

猕猴桃幼苗叶片的 C_i 、 P_n 、 G_s 、 T_r 在高温强光下均出现下降趋势。R0的 C_i 高于CK,但变化不明显(图5-A);R0的 P_n 低于CK,并在高温强光处理的4 d时间里持续下降,第4天与CK相比降低了41.73%(图5-B);R0的 G_s 低于CK,第3天R0显著低于CK

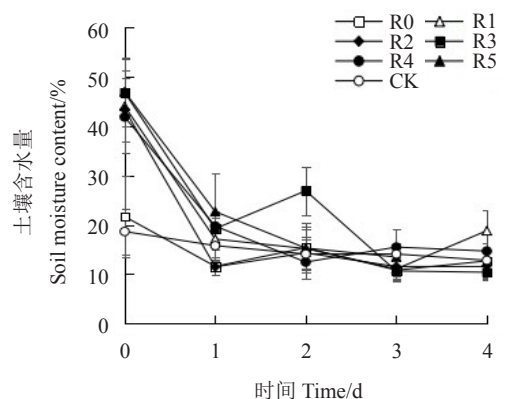


图4 高温强光对强降雨处理猕猴桃树土壤含水量的影响

Fig. 4 Effect of high temperature and high light on soil moisture content of kiwi trees treated by rainfall

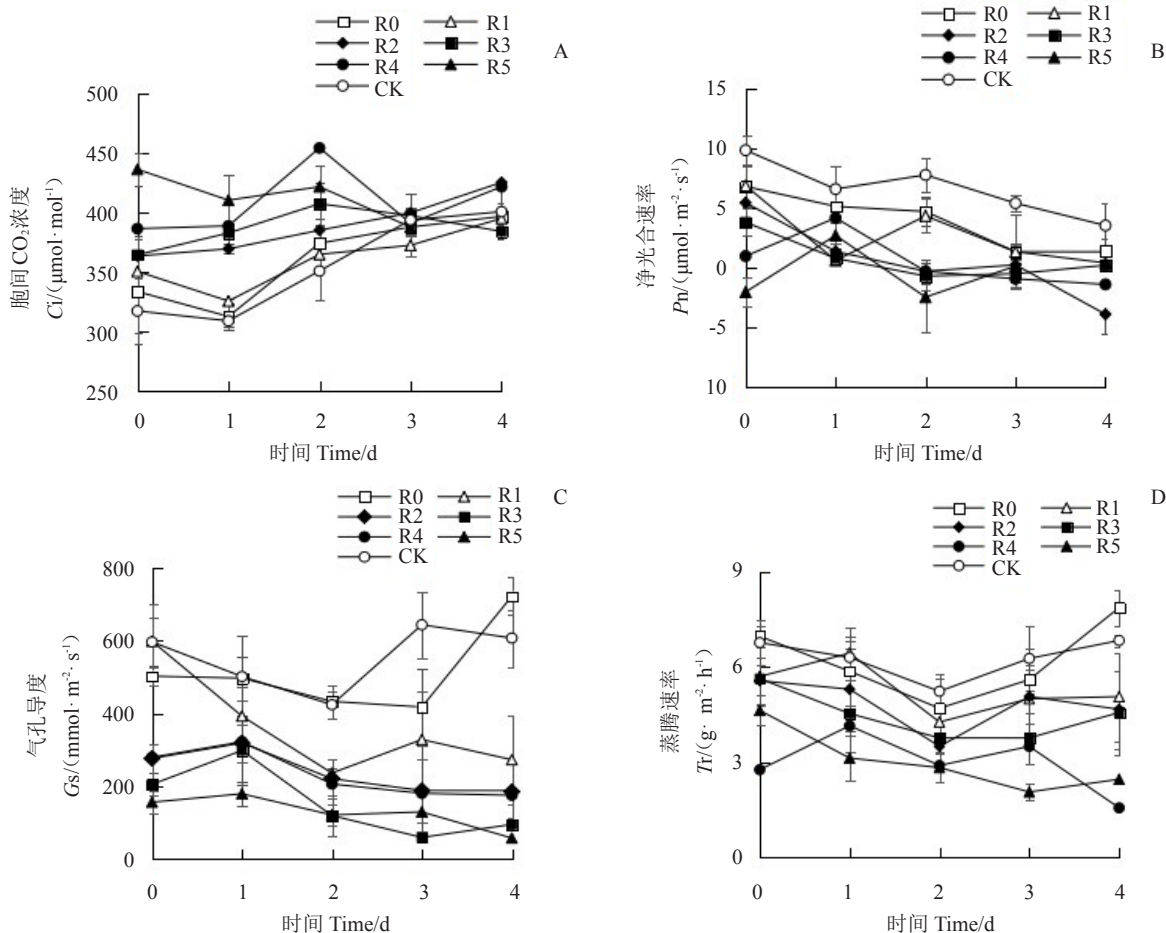


图5 高温强光对强降雨处理猕猴桃叶片 C_i 、 P_n 、 G_s 、 T_r 的影响

Fig. 5 Effect of high temperature and high light on C_i , P_n , G_s and T_r in rainfall-treated kiwifruit leaves

($p < 0.05$)(图5-C);R0的 T_r 与CK差异不大,均出现先降低后升高的变化趋势(图5-D)。

如图6所示,猕猴桃幼苗根系的根系活力、相对电导率、MDA含量、游离脯氨酸含量和氧化酶活性在高温强光下发生变化。高温强光处理4 d后,R0

的根系活力比CK降低了11.38%,除第2天,R0均低于CK,第4天R0与CK都略有上升(图6-A)。R0的根系相对电导率高于CK,第4天差异最显著,比CK的升高了21.38%(图6-B)。R0的根系MDA含量在高温强光下与CK相比略有上升,第4天比CK显著

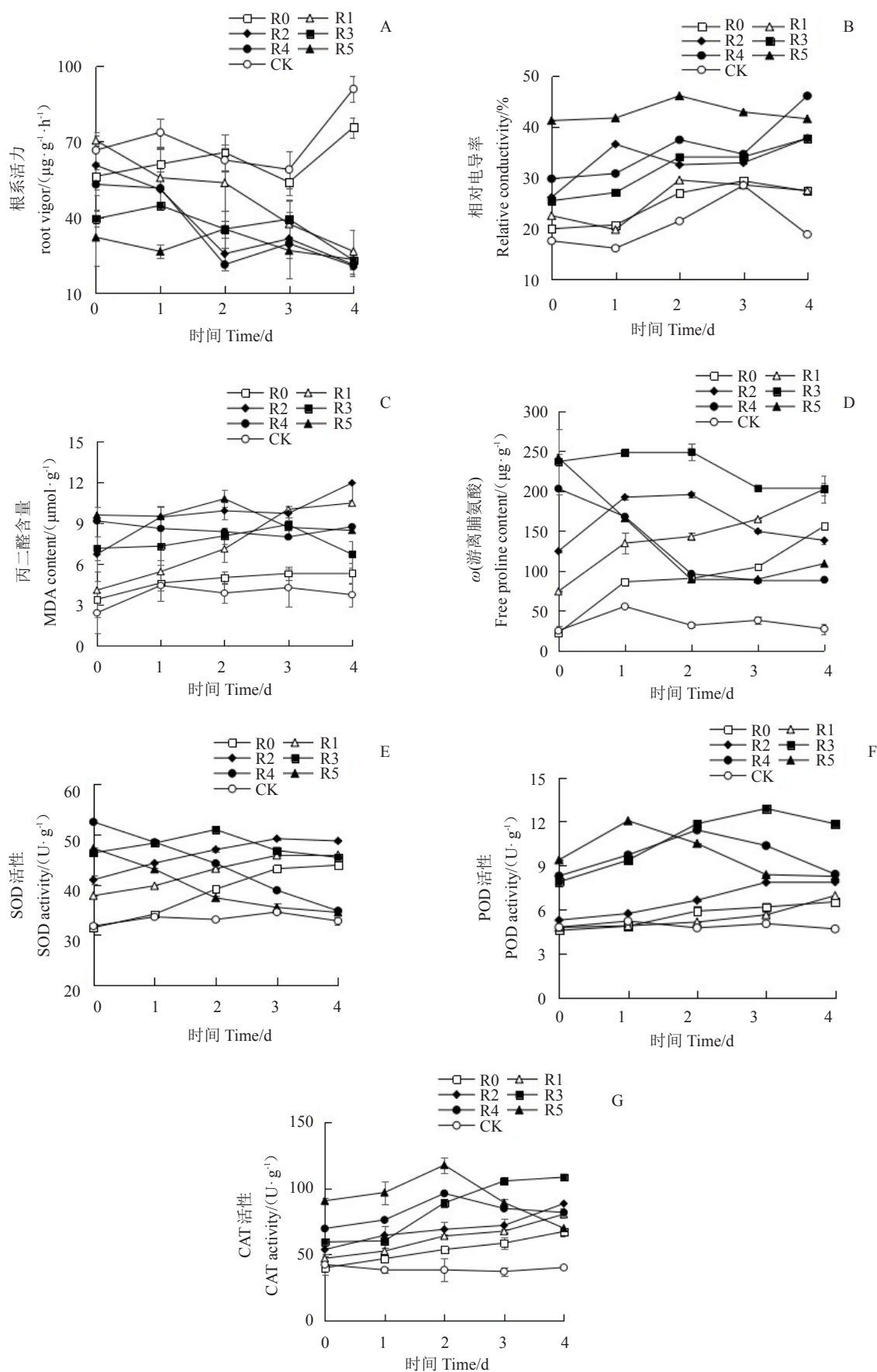


图6 高温强光对强降雨处理猕猴桃根系代谢的影响

Fig. 6 Effect of high temperature and high light on root metabolism in kiwifruit

高出 97.70%(图 6-C)。R0 与 CK 相比,根系游离脯氨酸的含量一直上升,第 4 天显著升高了 477.78%,CK 根系游离脯氨酸含量维持在 $30 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右(图 6-D)。高温强光下处理组和对照组的 CAT、POD、SOD 活性都有显著升高,随着高温强光时间的增长,2 组差异越明显(图 6-E)。在处理 4 d 后,R0 的 SOD 活性比 CK 上升了 34.38%,R0 的 POD 活性比 CK 上升了 39.46%(图 6-F),R0 的 CAT 活性比 CK 上升了 67.41%(图 6-G)。

2.3 持续强降雨后高温强光对猕猴桃幼苗叶片光合和根系代谢的影响

持续强降雨后土壤含水量上升较快,CK 的土壤含水量一直维持在 15% 左右,强降雨处理组的土壤含水量在高温强光下第 1 天明显下降,随后趋于平稳(图 4)。

猕猴桃幼苗在强降雨处理后的高温强光环境下,其双因素造成的伤害远远大于单因素造成的伤害之和,强降雨处理 5 d 后高温强光处理第 4 天时的叶片受害率高达 98.90%,叶片受害率随处理时间延长而上升,且有显著性差异($p < 0.05$)(表 1)。

猕猴桃幼苗叶片的 C_i 、 P_n 、 G_s 、 T_r 在持续强降雨后高温强光下出现迅速下降。持续强降雨后高温强光下 CK 的 C_i 低于强降雨处理组,R3 的 C_i 在高温处理 2 d 后达到最大值 $454 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,R4、R5 的 C_i 平均值远高于 R1、R2(图 5-A)。高温强光下强降雨处理组和对照组的 P_n 均出现下降,且强降雨处理组的 P_n 都低于 CK,与 CK 比,R1~R5 的 P_n 分别降低了 59.43%、91.91%、89.64%、92.92% 和 99.19%(图 5-B)。强降雨处理组的 G_s 趋于下降,且都低于 CK,与 CK 相比,R5 的 G_s 降低了 56.67%(图 5-C)。随着高温强光处理时间的增加,CK 的 T_r 高于强降雨处理组,R4、R5 在高温强光处理后的 T_r 最低,分别比 CK 降低 63.9% 和 77.1%(图 5-D)。

猕猴桃幼苗根系的根系活力、相对电导率、MDA 含量、游离脯氨酸含量和氧化酶活性在高温强光下发生明显变化。持续强降雨后在高温强光下,R1~R5 的根系活力显著低于 CK,与 CK 相比分别下降 30.92%、46.18%、48.51%、50.08% 和 59.19%,第 2 天各处理组根系活力开始发生明显变化,第 4 天,强降雨处理组显著低于 CK,达 $20.72 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ($p < 0.05$)(图 6-A)。R1~R5 的相对电导率明显高于 CK ($p < 0.05$),R1 与 CK 相比增加了 24.78%,R5 的相对

电导率最高,1~4 d 分别高于 CK 62.02%、54.70%、74.62% 和 108.59%(图 6-B)。与 CK 相比,R1~R5 的 MDA 含量显著高于 CK 97.70%、154.04%、103.11%、128.26% 和 150.45% ($p < 0.05$)。R1 和 R2 的 MDA 含量平稳上升,R3、R5 的 MDA 含量先上升后下降,第 3 天分别达到最大值 $8.71 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $10.81 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,R4 的 MDA 含量一直下降(图 6-C)。高温强光下强降雨处理组游离脯氨酸含量显著高于 CK ($p < 0.05$),R1~R5 分别上升了 303.14%、348.50%、538.98%、222.96% 和 290.04%。R3 的 Pro 含量显著增加,R4、R5 有所下降,但仍高于 CK(图 6-D)。经过强降雨处理的猕猴桃在高温强光胁迫条件下 CAT、POD、SOD 活性都有明显上升。R1、R2 的 SOD 活性比 CK 上升 28.37% 和 39.01%,R3 的 SOD 活性先上升后下降,第 2 天比 CK 升高了 47.73%,随后下降,第 4 天最低值仍比 CK 升高 37.21%。R4、R5 比 CK 上升了 32.21% 和 19.33%(图 6-E)。R1、R2 的 POD 活性比 CK 分别升高 11.91% 和 36.17%,R3、R4、R5 的 POD 活性比 CK 分别升高 119.18%、96.35% 和 97.89%,差异性达显著水平 ($p < 0.05$)(图 6-F)。R1~R5 的 CAT 活性比 CK 显著升高 ($p < 0.05$),分别上升了 58.53%、76.80%、131.51%、150.26% 和 205.86%,R4、R5 的 CAT 活性在第 2 天达到最大值,随后降低(图 6-G)。

2.4 根系活力与叶片受害率的相关性分析

叶片受损情况通过叶片受害率可以表现,根系受害情况通过根系活力来表现。对两者进行分析发现,虽不存在显著线性相关性,其区域分布也反映了叶片受害率和根系活力之间的非线性关系。从图 7 可

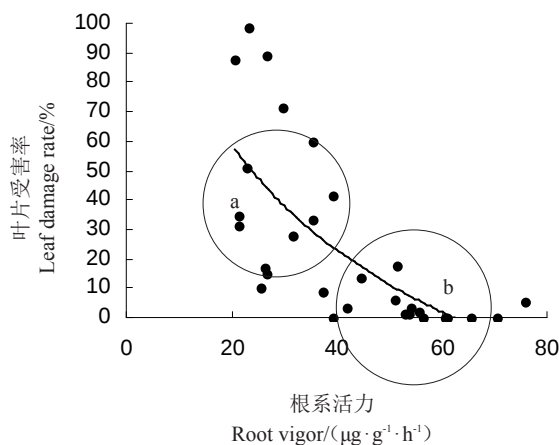


图 7 根系活力与叶片受害率的相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis of root activity and leaf damage rate

以看出,叶片受害率和根系活力呈现负相关,从b区域到a区域趋于分布可以看到猕猴桃的根系活力由大到小,叶片受害率由低到高的变化,说明经过持续强降雨处理的猕猴桃幼苗在高温强光下,根系和叶片同时遭受到了不同程度的伤害。

3 讨 论

渍水胁迫、高温强光胁迫都会影响作物的正常生长,渍水和高温强光胁迫影响棉花和玉兰等作物的正常生长已有报道,但是对猕猴桃幼苗遭受持续强降雨后遭受高温强光胁迫的研究甚少。笔者主要针对上海地区夏季持续强降雨后天气放晴猕猴桃叶片出现枯萎和根系腐烂的症状而设计。

持续强降雨会使土壤含水量短时间升高,但强降雨处理时间的延长不变,说明土壤水分饱和,根系在持续强降雨第2天后处于同一个渍水水平状态,猕猴桃幼苗遭受渍水胁迫,叶片轻微受损,但不影响植株的生长,幼苗叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度都降低,胞间 CO_2 浓度升高,这可能与非气孔限制有关,本试验研究结果与柑橘^[22]中研究结果相似。随着持续强降雨时间的增加,根系活力减弱,相对电导率和MDA含量均升高,说明根系细胞膜受到一定程度破坏;游离脯氨酸含量升高,游离脯氨酸含量的增加,有助于维持逆境胁迫下细胞的渗透势;持续强降雨后SOD、POD、CAT 3种酶的活性升高,郁万文^[23]研究发现,桃砧在淹水5 d内,SOD和POD酶活也有所升高,这可能是由于植株根系在缺氧时,自由基含量升高,从而引发自身的防御保护机制,继而保护细胞免受伤害。持续5 d的强降雨虽然已经给猕猴桃幼苗造成了一定程度的伤害,但胁迫去除后植株基本可以恢复正常生长。

高温强光胁迫影响了猕猴桃幼苗叶片的光合和根系代谢,在高温强光胁迫下,幼苗叶片轻微受损,净光合速率下降,这与张睿佳等^[24]在葡萄38~42℃的高温胁迫后叶片的光合特性一致。净光合和蒸腾速率的下降是高温强光胁迫后气孔关闭, CO_2 和 H_2O 进出气孔的阻力增加,导致细胞内 CO_2 浓度下降。另外高温强光胁迫也影响了根系的代谢,幼苗根系活力下降,相对电导率和MDA含量升高,根系内的渗透调节物质游离脯氨酸含量升高,SOD、POD、CAT 3种酶的活性升高,这与王利军等^[25]在葡萄上的研究结果一致。持续4 d的高温强光给猕猴桃幼

苗造成了一定程度的伤害,但胁迫去除后植株同样可以恢复正常生长。

试验结果表明,在仅5 d渍水胁迫或仅4 d高温强光胁迫时,猕猴桃幼苗只会遭受轻度胁迫,在外界环境恢复正常后幼苗便可恢复正常,但在持续强降雨3~5 d后在高温强光下3~4 d时,猕猴桃幼苗叶片光合和根系代谢发生明显变化,根系和叶片都受到伤害;试验证明,当猕猴桃幼苗叶片受害率超过约50%后,植株基本不能恢复正常;与对照相比,持续强降雨1 d幼苗叶片的气孔导度在高温强光下开始下降,持续强降雨3 d后幼苗叶片净光合速率、蒸腾速率在高温强光下显著降低,胞间 CO_2 浓度升高。在持续强降雨3~5 d前在高温强光下1~2 d时的净光合和蒸腾速率的下降可能是由于气孔的关闭,气孔阻力增加引起的;在持续强降雨3~5 d后在高温强光下3~4 d时光合速率下降主要原因可能是非气孔限制因素,强降雨处理后的高温强光胁迫在短时间内致使光合器官受损,导致光合速率降低,气孔导度下降,胞间 CO_2 浓度上升,蒸腾速率降低,这与杨威等^[20]在棉花中的研究结果一致。根系是植株其生长发育、新陈代谢等生理活动的重要器官,在持续强降雨后的高温强光下根系活力急剧下降,其相对电导率和MDA含量均升高,根系膜脂过氧化加剧,细胞膜受到破坏,说明根系受到严重伤害,前人研究发现红花玉兰幼苗^[26]在渍水后高温处理MDA含量升高,与试验研究结果一致。试验中游离脯氨酸含量出现明显下降,可能是在持续强降雨后遭受高温强光导致细胞原生质体破裂,细胞液外渗。在短时间内SOD活性先于POD和CAT活性升高,可能是由于SOD先将超氧阴离子清除生成过氧化氢,进而由POD、CAT彻底将过氧化氢分解成水,最终消除超氧阴离子对细胞的伤害,3种酶在持续强降雨后期活性都出现下降的情况,与曾淑华等^[27]在烟草中的淹水研究中的发现一致。另外,从叶片受害率和根系活力的相关性分析可以看出,两者之间存在一种非线性相关性;持续强降雨造成土壤含水量增加,对猕猴桃植株造成渍水伤害,高温强光直接影响叶片的光合,间接影响到已经渍水的根系,造成根系活力下降。

4 结 论

持续强降雨3~5 d后,3~4 d的高温强光会对猕

猴桃幼苗造成严重伤害,幼苗叶片萎蔫、干枯,根系严重褐化,导致植株死亡。因此在持续强降雨3~5 d后出现3~4 d的高温晴朗天气,应该考虑采取降温避光措施,避免猕猴桃果园树木死亡现象的发生。

参考文献 References:

- [1] 齐秀娟. 猕猴桃新优品种配套栽培技术[M]. 北京: 金盾出版社, 2015: 1-5.
QI Xiujuan. Kiwifruit new varieties of supporting cultivation techniques[M]. Beijing: JinDun Publishing House, 2015: 1-5.
- [2] LU Y L, CHEN Z J, KANG T T, ZHANG X J, BELLARBY J, ZHOU J B. Land-use changes from arable crop to kiwi-orchard increased nutrient surpluses and accumulation in soils[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2016, 223: 270-277.
- [3] BELROSE INC. World kiwifruit review, 2015 edition[EB/OL]. (2015- 04- 01) [2017- 11- 21]. <http://www.e-belrose.-com/2105WorldKiwiReview.html>.
- [4] 陈锦永, 方金豹, 齐秀娟. 猕猴桃砧木研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(5): 959-968.
CHEN Jinyong, FANG Jinbao, QI Xiujuan. Research advances on kiwifruit rootstocks[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(5): 959-968.
- [5] 葛根, 周汉其, 郝洪章, 庞铭瑜, 黄懿珍. 格雷猕猴桃在上海地区试栽[J]. 上海农业科技, 1997(2): 7.
GE Gen, ZHOU Hanqi, HAO Hongzhang, PANG Mingyu, HUANG Yizhen. Gracie kiwi planted in Shanghai[J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 1997(2): 7.
- [6] 施春晖, 王晓庆, 骆军. 上海地区 15 个猕猴桃品种引种适应性比较[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2014, 32(3): 1-6.
SHI Chunhui, WANG Xiaoqing, LUO Jun. Adaptability comparison of fifteen introduced kiwifruit varieties in Shanghai area[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2014, 32(3): 1-6.
- [7] 葛志刚. 上海地区猕猴桃标准化建园及幼树期管理关键技术[J]. 上海农业科技, 2012(1): 61-63.
GE Zhigang. Key technology of standardized construction of kiwifruit garden and sapling management in Shanghai[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2012(1): 61-63.
- [8] TETE E, VIAUD V, WALTER C. Organic carbon and nitrogen mineralization in a poorly-drained mineral soil under transient waterlogged conditions: an incubation experiment[J]. European Journal of Soil Science, 2015, 66: 427-437.
- [9] COMAS L, BECKER S, CRUZ V M V, BYME P F, DIERIG D A. Root traits contributing to plant productivity under drought[J]. Frontiers in Plant Science, 2013, 4: 442.
- [10] GAMBETTA G A, FEI J, ROST T L, KNIPFER T, MATTHEWS M A, SHACKEL K A, WALKER M A, MCELDRONE A J. Water uptake along the length of grapevine fine roots: developmental anatomy, tissue-specific aquaporin expression, and pathways of water transport[J]. Plant Physiology, 2013, 163(3): 1254-1265.
- [11] 孙丹柯, 梁鹏, 许文平, 张才喜, 王世平. 渍水处理对美味猕猴桃生理生化特性的影响[C]. 成都: 中国园艺学会猕猴桃分会研讨会, 2010.
SUN Danke, LIANG Peng, XU Wenping, ZHANG Caixi, WANG Shiping. Effects of waterlogging treatment on physiological and biochemical characteristics of kiwifruit[C]. Chengdu: China Horticultural Society Kiwifruit Symposium, 2010.
- [12] ALSINA M M, SMART D R, BAUERLE T, HERRALDE F, BIEL C, STOCKERTT C, NEGRON C, SAVE R. Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62(1): 99-109.
- [13] CAPON S J, JAMES C S, WILLIAMS L, QUINN G P. Responses to flooding and drying in seedlings of a common Australian desert floodplain shrub: *Muehlenbeckia florulenta* Meisn. (tangled lignum)[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 66(2): 178-185.
- [14] IRFAN M, HAYAT S, HAYAT Q, AFROZ S, AHMAD A. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging[J]. Protoplasma, 2010, 241(4): 3-17.
- [15] ALSCHER R G, ERTURK N, HEATH L S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53: 1331-1341.
- [16] 郭晓勇, 李潘, 张敏, 孙雁霞, 苟小军. 水涝胁迫下欧李 SOD 和 POD 的变化[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2016, 35(2): 130-133.
WU Xiaoyong, LI Pan, ZHANG Min, SUN Yanxia, GOU Xiaojun. SOD and POD enzyme changes of *Prunus humilis* Bunge in waterlogging stress[J]. Journal of Chengdu University (Natural Science), 2016, 35(2): 130-133.
- [17] 梁艳荣, 胡晓红, 张颖力, 刘湘萍. 植物过氧化物酶生理功能研究进展[J]. 内蒙古农业大学学报, 2003, 24(2): 241-247.
LIANG Yanrong, HU Xiaohong, ZHANG Yingli, LIU Xiangping. Progress on physiological function research of plant peroxidase[J]. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry, 2003, 24(2): 241-247.
- [18] 吴林, 张志东, 李亚东, 郝瑞. 越桔耐涝品种的筛选[J]. 吉林农业科学, 2002, 27(2): 46-48.
WU Lin, ZHANG Zhidong, LI Yadong, HAO Rui. Cultivars selection of high flooding tolerance ability of blueberry[J]. Jilin Agricultural Sciences, 2002, 27(2): 46-48.
- [19] 计玮玮, 邱翠花, 焦云. 高温强光胁迫对砂梨叶片光合作用、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(5): 794-799.
JI Weiwei, QIU Cuihua, JIAO Yun. Effects of high temperature and strong light on photosynthesis, D1 protein, and the Deg1 protease in pear (*Pyrus pyrifolia*) leaves[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(5): 794-799.
- [20] 杨威, 朱建强, 吴启侠. 花铃期短期渍水和高温对棉花叶片光合特性、膜脂过氧化代谢及产量的影响[J]. 棉花学报, 2016, 28(5): 504-512.
YANG Wei, ZHU Jianqiang, WU Qixia. The Effect of short-term waterlogging and high temperature on photosynthesis, membrane lipid peroxidation metabolism, and yield during cotton flow-

- ering and boll-forming[J]. Cotton Science, 2016, 28(5): 504-512.
- [21] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- LI Hesheng. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [22] HOSSAIN Z, LOPEZCLIMENT M F, ARBONA V, PEREZCLEMENTE R M, GOMEZCADENAS A. Modulation of the antioxidant system in citrus under waterlogging and subsequent drainage [J]. Journal of Plant Physiology, 2009, 166(13): 1391-1404.
- [23] 郁万文, 蔡金峰, 高长忠. 不同桃砧类型对淹水胁迫的生理响应及耐涝性评价[J]. 中国果树, 2016(3): 1-6.
- YU Wanwen, CAI Jinfeng, GAO Changzhong. Physiological responses to flooding stress and waterlogging tolerance evaluation of different peach rootstock types[J]. China Fruits, 2016(3): 1-6.
- [24] 张睿佳, 李瑛, 虞秀明. 高温胁迫与外源油菜素内酯对‘巨峰’葡萄叶片光合生理和果实品质的影响[J]. 果树学报, 2015, 32(4): 590-596.
- ZHANG Ruijia, LI Ying, YU Xiuming. Effects of heat stress and exogenous brassinolide on photosynthesis of leaves and berry quality of ‘Kyoho’ grapevine[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(4): 590-596.
- [25] 王利军, 黄卫东, 战吉成. 水杨酸和高温锻炼与葡萄抗热性及抗氧化的关系[J]. 园艺学报, 2003, 30(4): 452-454.
- WANG Lijun, HUANG Weidong, ZHAN Jicheng. Thermotolerance related to antioxidation induced by SA and heat acclimation in grape seedlings[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(4): 452-454.
- [26] 陈云, 梁玉婷, 李娜. 渍水后高温胁迫对红花玉兰幼苗生理特性的影响[J]. 南方农业, 2017, 11(8): 79-80.
- CHEN Yun, LIANG Yuting, LI Na. Effects of high temperature stress on physiological characteristics of *Magnolia grandiflora* seedlings under waterlogging[J]. South China Agriculture, 2017, 11(8): 79-80.
- [27] 曾淑华, 赵正雄, 覃鹏, 刘飞虎. 淹水对转超氧化物歧化酶或过氧化物酶基因烟草某些生理生化指标的影响[J]. 植物生理学报, 2005, 41(5): 603-606.
- ZENG Shuhua, ZHAO Zhengxiong, QIN Peng, LIU Feihu. Effects of waterlogging on some physiological and biochemical indexes of transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) lines with superoxide dismutase or peroxidase gene[J]. Plant Physiology Communications, 2005, 41(5): 603-606.

美国华盛顿州立大学Cameron P. Peace博士莅临河南农业大学园艺学院进行学术培训讲座

为了能有效地将分子标记技术运用于果树育种中,加快我省果树育种进程,河南农业大学园艺学院于2018年7月3日邀请美国华盛顿州立大学Cameron P. Peace博士进行为期2天的以“DNA信息辅助育种”为主题的学术培训活动。Cameron博士毕业于澳大利亚昆士兰大学,现任华盛顿



州立大学园艺学院副教授,共同主持美国“蔷薇科作物目标育种(RosBREED)”项目,专业从事DNA信息辅助育种,该项技术可高效、快速的对果树杂交后代进行检测和精准选育后代性状。讲座由园艺学院院长冯建灿教授主持,参与人员有来自中国农业科学院郑州果树研究所、北京林业大学、中国林科院、河南科技学院的各位同仁和园艺学院骨干教师及部分研究生。

培训会在郑先波教授致欢迎词后正式开始。Cameron博士结合其团队在过去几年的研究,首先从蔷薇科植物的传统育种与DNA信息辅助育种的关系谈起,详细介绍了传统育种的局限性及DNA信息辅助育种对传统育种的改进和完善,使大家对蔷薇科植物育种的大背景有了更为直观的认识。随后Cameron博士以问卷或问答的形式了解了参会人员在育种过程中的一些基本信息,例如从事研究的果树类型、参与的育种项目进展以及希望从讲座中获取的信息等问

题,与参会者分享了彼此的科研领域经验及进展,相互了解并分享最前沿的育种信息。

接下来,Cameron博士简单介绍了其团队的一些研究成果,通过对其团队研究成果的介绍,详细阐述了育种工作的4个关键阶段,即:育种目标的设定、创造新的遗传变异、新品种的选育及最终实现商

业化。他强调在育种过程中必须保证上述4个关键阶段的工作,才能实现精准育种的目标。他指出“如何将蔷薇科植物基因组研究应用到育种实践是蔷薇科育种领域的研究热点”。将蔷薇科植物育种目标与基因组研究紧密结合,必将是未来蔷薇科植物育种中最为重要、最为热门的研究领域。从植物基因组学研究到育种实践应用是一个复杂且困难的过程,Cameron博士将此过程概括为5步,每一步的讲解都事无巨细,大到整体步骤的实施,小到标记引物的设计都清晰明了,生动形象的报告多次引发参会人员的热烈讨论。Cameron博士带来的不仅是国际前沿的学术知识,更让大家对DNA信息辅助育种研究有了更加清晰的认识。

本次培训会由河南省重大科技专项(151100110900)、河南农业大学园艺学博士点建设专项基金(217/18XK0703)和河南省科技攻关(国际合作)项目(172102410049)共同资助。

(谭 彬,程 钧 河南农业大学园艺学院 450002)